

看透

烟

尘

烟尘：是一个严重的问题。

它远不是在电影《欢乐满人间》(*Mary Poppins*)中看起来那么可爱。实际上，烟尘中的微小颗粒危害人类和环境的健康。尽管人们对其危害性的认识已不断增加，但是，烟尘还是一种难以捉摸的物质。

烟尘主要是由未完全燃烧或未燃烧的烃基燃料形成的碳基化学副产品。烟尘主要产生于矿物燃料的燃烧，特别是煤炭在发电厂的燃烧；汽车和飞机柴油的燃烧；燃烧木柴的炉子和壁炉；以及金属熔炼。

正如明尼阿波利斯市明尼苏达大学机械工程与化学教授Michael Zachariah所说：烟尘因其来源不同而各不相同。即使来自同一来源的烟尘也会因其形成条件不同而不同。“一台柴油机车负重爬坡时产生的烟尘与其在平地上行驶时产生的烟尘是截然不同的，”他说，“柴油机车产生的烟尘与壁炉或喷气发动机产生的烟尘又大相径庭。”

位于马里兰州盖瑟斯堡市国家标准和技术研究所(NIST)大气化学小组负责人Michael Verkouteren说，烟尘是由各种化合物构成的成分复杂且不固定的混合物，因此，难以对烟尘的特性进行准

确的描述。有的烟尘和颗粒物质（气溶胶，PM）可按照既定标准进行分析，但有些却不行。他说，不同烟尘的物理和化学特异性会令许多分析方法无所适从。

Verkouteren说，我们首先面临的问题是，用传统的以实验为基础的方法来研究烟尘，尽管能得到精确的结果，却吃不准其准确性。因为设计往往是以不完整的信息为基础的。“随着新的信息和先进技术的出现，研究方法可能会得到修正和改进，”他说，“其最后的结果是方法用了许多，产生的数据却极难进行相互之间的比较。”

Verkouteren和国家标准和技术研究所热力和反应过程小组负责人Cary Presser已开始着手研究一套考察烟尘的新方法。他们的工作还处在初级阶段，但他们相信，通过合成一套人造烟尘颗粒，提高测量颗粒物质的分析仪器的校验精度。

烟尘：蔓延的健康危害

归类为PM_{2.5}（直径在2.5 μm或以下）的烟尘造成了肺癌死亡及患上其它严重呼吸道疾病的风险明显增加。2002年3月6日《美国医学协会杂志》（Journal of the American Medical Association）发表的一篇由一项主要由美国环境卫生科学研究所(NIEHS)资助，由卫生保健和环保团体联合完成的研究报告中称，PM_{2.5}每增加10 μg/m³，死于肺癌的人数就增加8%。对PM_{2.5}及以下微小颗粒应特别加以注意，因为多项调查都将2.5 μm作为一个临界尺寸。达到这一尺寸的颗粒物质可以侵入人体的防御系统，侵害深部肺部组织。据斯坦福大学土木及环境工程副教授Mark Jacobson的估计，每排放1吨PM_{2.5}，造成的卫生保健费用大约为25万-100万美元。

Verkouteren解释说，颗粒物质被美国环保局定为“标准污染物”，或者说，是美国环保局已经确定的国家环境空气质量标准的空气污染物。要确定某一地区的

空气质量是否符合联邦空气质量标准，主要就是测量这一地区的颗粒物质情况。

“但问题在于颗粒物质是唯一一个没有明确化学特性的标准污染物，”Verkouteren说，“有关标准仅仅是规定了颗粒物质的数量——一定时间内过滤器捕获的总数量——的基础上的。但并没有区分其成分。”他说，工业界的顾虑在于，如果用此标准来确定他们的空气质量是否符合规定，标准的测量方法本身就存在未知的不确定性，这势必会影响决策及可能让他们付出昂贵的代价但却未必收到效果。

Jacobson说，目前全球每年烟尘产生量大约是70-100亿公斤。烟尘被认为是可能造成全球变暖的第二大因素，仅次于二氧化碳。Jacobson估计，由于烟尘有吸收和反折太阳辐射的能力，烟尘造成的全球变暖效应可能占15-30%。

“这些粒子的生命周期为1-3个星期”，Jacobson说，“也就是说它们可在大气中漂浮数千公里，因此，能对远离排放源的地方产生健康和环境影响。尽管在南极洲方圆几千公里以内并没有大型排放源，但也发现了烟尘的存在。”

由于烟尘生命周期较长，就有可能造

成另一个潜在的严重问题——在大气中与其它化学物质结合。刚开始时，烟尘只是碳黑，但它却可以为一系列化学物质集结/混合提供场所，如硫酸盐和硝酸盐——烟尘不但充当了这些化合物相互混合的平台，还可与这些化合物反应，形成其它污染物。

这一混合过程的准确特性以及所形成的物质对环境可能造成的影响尚有待研究。《地球物理学研究》(Geophysical Research Letters)第24卷（1997年第四期）上发表的一份由SRI国际研究机构的科学家们完成的研究报告表明，烟尘微粒可以催化一系列没有烟尘时就不会发生的化学反应。例如，烟尘表面可以将硝酸转化成二氧化氮和一氧化氮。这一现象会对大气产生严重影响，因为大气臭氧水平对二氧化氮和一氧化氮浓度非常敏感。

Verkouteren说，含炭颗粒物质一



一旦进入大气，就会遇到各种混杂在一起的物质。”根据我们的观察，美国西部的颗粒物质主要含硝酸盐，而东部地区主要含硫酸盐，”他说，“另外还涉及数百种有机化合物，这还不包括霉菌、花粉、微量金属元素等。这是一个非常复杂的相互反应系统。这一反应过程在同一地点会因时间、温度、湿度等不同而变化。”

据Presser介绍，目前对现场烟尘的测量方法是与美国环保局在全国各地定点收集的标准颗粒物质进行对比后，再用各种不同的分析仪器进行定性。采用这种方法，无法追溯各颗粒物质样本的源头，所得出的颗粒物质特性也不具有可再现性。因此，Presser说，所需要的就是要建立一套颗粒物质标准样本，根据这些样本可以明确追溯各类颗粒物质在源头的形成条件以及与之相关的不确定性，可以针对特定的不确定性对颗粒物质进行复制，进而可以在相同的基础上对不同分析仪器得出的结果进行相互比较。

重新审视烟尘的测量方法

Verkouteren和Presser采取的方法是在严格控制的条件下，如燃烧温度、燃料源、燃料成分以及其他因素，生产出烟尘。Presser说：“我们想控制相关的因素，这样我们就可以得到最后的产物。然后，我们就可以对不确定性因素进行定性，这样我们就可以向工业界提供不确定因素的各种材料。而且，我们可以在控制条件下再生产出此类材料。”他又补充说：“我们并不是想对万事万物都进行测量，相反，我们更注重于更具有相关性、对工业界更具有明显价值的物理和化学参数。”

“不确定性最大的是对炭黑的测量”，Verkouteren说，“目前还无人确切知道炭黑的成份。但是我们明确知道炭黑是一种相当活跃的物质，可以吸收空气中的各类有毒有机物和其他物质。因此[空气中]的炭黑数量是一个很好的健康风险指标。我们曾将炭黑样本送往不同的实验室检验，反馈的炭黑数据之间的差距在8-50%之间。这就更突出了需要一种可将测量结果标准化并提高数据在不同实验

室之间可复制性的基准材料的迫切性。”

国家标准和技术研究所研究时用来生成炭黑的喷雾燃烧设备并不能完全模仿高炉或燃气涡轮的真实燃烧条件。这些系统实在太复杂，很难在实验室里再现。但是，NIST的实验设备却可以模仿不同的旋流强度和燃料-空气化学定量关系等实际工业燃烧系统中会出现的燃烧条件。

Presser说，他们的最终目标是尽可能接近地模仿环境中存在的烟尘。这就要求



一个关于燃烧的问题：研究人员希望通过燃烧庚烷产生的人造烟尘可以帮助他们对这些高深莫测的颗粒物质进行定性。（小插图中）电子显微照片展示了典型的由小颗粒聚集成的烟尘结构。此类结构的烟尘占空气污染颗粒物质的相当大比例。

系统具备很大的灵活性，以便通过改变操作条件来影响和控制烟尘的特性。

第一种人造烟尘是通过燃烧庚烷(C_7H_{16})获得的。选择庚烷是因为其结构简单，且对其化学性质及烟尘特性掌握的也比较多。“我们是从液态庚烷入手的，因为这更能代表实际情况。

况。而且我们可以更精确地控制加入反应器的因素组合，”Presser解释道，“下一步可能要实验更复杂的物质，譬如甲苯，一种烟尘很大的燃料。”

那么固体物质实验呢？譬如说煤。“也许不会进行，”Presser说，“混合物的化学组成增加后，情况会复杂得多。如果要对含硫煤或柴油之类的燃料进

行实验，那么所涉及的有机物及其他物质的数量就非常大，对这一过程的研究就会更加困难。你不能把事情弄得太复杂，以至对整个反应过程无法加以控制和解释。当然也不能太简单，那样就无法反映真实情况。我们的计划是从简单的入手，

然后逐步深入。”Presser说，实验取得的基准数据将以国家标准和技术研究所报告形式在内部杂志上发表，并在英特网上公布。

Presser说，此类产品的主要用户将包括任何需要基准材料的行业，如交通业、建筑业、电厂和能源厂、卫生、环境、和国防部门。“另外”，他说，“此类产品可用来建立模型和计算机校准检验工具。”

Zachariah对此项工程极具雄心，此项工程也可能极有价值。“这种建立标准的工作当然值得去努力，因为这些标准在以后的测量中可以作为极有价值的步骤。而且，他们还可以提供有价值的历史记录”，他说，“如果X实验室对烟尘进行研究，那么当Y实验室对另一个来源的烟尘进行研究时，就可以回过头来拿X实验室的资料进行参考。这样，两个不同的研究小组就可以对测量仪器和测量结果进行比较。同样，要控制污染物就必须有一套标准，标准越严密，控制效果就越好。”

Presser承认，由于种种原因，任何人造烟尘只能在一定程度上代表环境颗粒物质。由于烟尘特有的复杂性，以及其与环境相互作用之间的许多未知且不可控制的变量因素，烟尘仍是一个复杂而难以捉摸的污染物。Presser希望能将人们已经获得的有关烟尘的知识进一步明确化、精确化。

—Lance Frazer
译自 *Environmental Health Perspectives*
110: A470-A473 (2002)